Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. E. Fröhlich

Entwicklung einer Methode zur Rauhtiefenmessung auf Zähnen und Füllungen in der Mundhöhle

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Fritz Talmon
aus Pforzheim

1962

7401

Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. E. Fröhlich

ENTWICKLUNG EINER METHODE ZUR RAUHTIEFENMESSUNG AUF ZÄHNEN UND FÜLLUNGEN IN DER MUNDHÖHLE

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Fritz Talmon
aus Pforzheim
1962

Dekan:	Professor Dr. K. Brecht
1. Berichterstatter:	Professor Dr. A. Kröncke
2. Berichterstatter:	Professor Dr. E. Fröhlich

MEINEN ELTERN

MEINEN LEHRERN

MEINER FRAU

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	Einleitung	1
	1. Problemstellung	1
	2. Physikalische und chemische Eigenschaften der selbsthärtenden Kunststoffe	4
II.	Experimenteller Teil	7
	A. Allgemeines	7
	1. Definition der Oberfläche	7
	2. Prinzipielle Arbeitsweise des Profilographen	11
	B. Methodik und Ergebnisse	13
	1. Anfertigung der Palavit G-Abdrücke	13
	2. Die Oberflächengenauigkeit des Palavit G-Abdruckes	14
	3. Rauhigkeitsprofile von verschiedenen Füllungen in der Mundhöhle	21
	4. Auswertung der Kurven	27
	5. Wiederholungs- und Parallelmessungen	27
III.	Schlußbemerkungen	35
IV.	Zusammenfassung	38
V.	Literaturverzeichnis	39

I. Einleitung

1. Problemstellung

Oberflächenmessungen an Zähnen interessieren in der konservierenden Zahnheilkunde in bezug auf das Problem der Füllung und hauptsächlich des Füllungsrandes. Veränderungen, die im Laufe der Zeit entstehen, wie Remineralisationsvorgänge, Auswaschen des Füllungsrandes, Korrosion des Füllungsmaterials, können durch Oberflächenmessung und deren Reproduktion festgehalten und ausgewertet werden. Von weiterem Interesse wäre die Frage nach der Zweckmässigkeit einer Politur von Zahnfüllungen. Wird die Korrosion der Füllungsoberfläche beim Nichtpolieren gefördert, oder löst der Poliervorgang nachträgliche Schädigungen am Füllungsrand aus? Außerdem können die verschiedenen Füllungsmaterialien in ihrem Oberflächenverhalten miteinander verglichen werden. Dabei interessiert auch ein Vergleich zwischen starren und plastischen Stoffen.

Die seitherigen Oberflächenmessungen in der Zahnheilkunde wurden ausschließlich mit Hilfe des Mikroskopes durchgeführt. Einerseits verwandte man das Lichtmikroskop, andererseits das Elektronenmikroskop. Zur Untersuchung wurden Abdrücke von einer bestimmten Oberfläche angefertigt. Für das Lichtmikroskop eignen sich besonders Abdrücke der Replica-Methode. Polymerisationsabdrücke sind für Untersuchungen mit dem Elektronenmikroskop von Vorteil.

Das Verdienst, die ersten Abdrücke von Zahnoberflächen gemacht zu haben, die unter dem Lichtmikroskop betrachtet werden konnten, gebührt WOLF, Prag (1). Mit der von SCOTT und WYKOFF (2) eingeführten "Shadowed Collodion Replica Method" (Replica-Methode) sind Untersuchungen mit dem Lichtmikroskop möglich. Als Abdruckmittel wird von WOLF eine Auflösung von Zelloidin in Aceton und von SCOTT und WYKOFF eine 4%ige Kollodiumlösung (U.S.P. oder Merck) benutzt, die mit gleichen Teilen Amylazetat und Äther auf 2 % verdünnt wird. HEUSER (3), der die Wolfsche Methode weiterentwickelte, löst Plexiglas in Chloroform auf. Diese Lösung trägt er mit einem Wattebausch auf den Zahn auf. Nach dem Trocknen wird der dünne Plexiglasfilm mit Hilfe eines durchsichtigen Klebestreifens vom Zahn abgezogen und auf einen Objektträger aufgeklebt. PANTKE (4) nimmt zum Ablösen des Präparates einen Streifen derselben Zusammensetzung von Kollodium-Amylazetatlösung.

Solche Replica-Abdrücke werden in der Regel mikroskopisch betrachtet und ausgewertet. Versuche, diese Abdrücke auch für Oberflächentastgeräte anzuwenden, zeigten, daß die Tastnadel mit ihrem Spitzenhalbmesser von 5-10 μ in den Abdruck eindringt und somit keine formgetreue Reproduktion des Oberflächenprofils zuläßt. SCHNEIDER und REIMANN (5).

Für bakteriologische Untersuchungen auf dem Gebiet der Elektronenmikroskopie, verwendeten dann als erste SCHREIL (6) und SCHLEICH (7) Polymerisationsabdrücke mit dem Kunststoff Palavit der Firma KULZER & Co. in Bad Homburg.

Ebenso wandte ADOLPH (3) dieses Abdruckverfahren an Dentinoberflächen für elektronenmikroskopische Untersuchungen an. Schließlich werden in der Industrie mit Hilfe von Autopolymerisaten Abdrücke von Werkstoffen in großem Umfang gewonnen und ausgewertet.

Daraus ergibt sich die Frage inwieweit diese Abdruckverfahren für die Oberflächenmessung innerhalb der Mundhöhle anwendbar sind!

Vorversuche zur direkten Oberflächenmessung mit dem PROFILOGRAPHEN nach FÖRSTER in der Mundhöhle stießen auf unüberwindliche Schwierigkeiten. Die sogenannten Laborgeräte, die zur Messung zur Verfügung stehen, sind zu sperrig oder zu schwer. Gerade in der Mundhöhle sind die Zahn- und Füllungsoberflächen, welche zu messen sind, für die Tastnadel nur schwer zugänglich. Die Molaren- und Praemolarengegend ist überhaupt nicht zu erreichen. Als weiteres Problem erwies sich die Lagerung von Gerät und Objekt. Bei dem zur Verfügung stehenden Gerät, dem PROFILOGRAPHEN Type 5814 nach FÖRSTER, ist die für die Oberflächenmessung notwendige exakte Fixierung der Tastnadel in der Mundhöhle praktisch nicht möglich. Darüberhinaus kann der betreffende Patient nicht ausreichend genug ruhig gelagert werden. Allein schon Atmung und Puls führen bei der hohen Empfindlichkeit des Tastgerätes zu Fehlabweichungen. Außerdem müßte die physiologische Eigenbeweglichkeit der Zähne ausgeschaltet werden. Alle Schwierigkeiten erwiesen sich als unüberwindlich. Es mußte daher der Umweg über den Akrylat-Abdruck eingeschlagen werden.

Deshalb soll untersucht werden, ob die angestrebten Oberflächenmessungen mit ausreichender Genauigkeit auf Abdrücken von den zu untersuchenden Zahnflächen durchgeführt werden können.

Ob selbsthärtende Kunststoffe als Abdruckmaterial geeignet sind, hängt von der Beantwortung folgender Fragen ab:

1. Ist der Akrylat-Abdruck formgetreu?
2. Sind Abweichungen vom Original bei hohen Empfindlichkeitsbereichen des Tastgerätes zu erwarten?

2. Physikalische und chemische Eigenschaften der selbsthärtenden Kunststoffe

Als die Firma RÖHM und HAAS in Darmstadt erstmalig mit Methacrylsäuremethylester als Prothesehmaterial für die Zahnheilkunde experimentierte, ahnte wohl niemand, welche Bedeutung diese Versuche einmal erlangen könnten. 1936 entwickelte die Firma KULZER & Co. in Bad Homburg ihre Paladon-Verfahren. Dies bedeutete, daß nunmehr aus einem Polymer-Pulver und einer monomeren Flüssigkeit ein knetbarer Teig hergestellt, in eine Form gefüllt und dort auspolymerisiert werden konnte. Das war eine erste Krönung der RÖHM-HAASschen Versuche. Der Dentist SCHNEBEL fand im Jahre 1940 einen Katalysator (MICHLERs Keton), welcher eine Polymerisation bei Zimmertemperatur ermöglichte. Nachteilig war eine rasche Verfärbung bis ins Rosarote und Grüngelbe. Schließlich gelang es CZAPP

und seinen Mitarbeitern, bei der Degussa einen Katalysator zu entwickeln (tertiäre Amine), welcher diese Erscheinungen nicht aufwies. Der 2. Weltkrieg verhinderte jedoch die Weiterentwicklung. Nach dem Kriege gelang der Firma KULZER auf diesen Grundlagen ihr "Rapid-Palapont" beziehungsweise "Rapid-Paladon", genannt "Palavit" (WENZEL (9)).

Die jüngste Entwicklung brachte dann das sogenannte "Paladur" und den selbsthärtenden Modellierkunststoff "Palavit G" hervor. "Palavit G" wird wegen seiner Formtreue und Passgenauigkeit in der Zahnheilkunde als direktes Abdruckmaterial verwendet.

Nach Licht- und elektronenmikroskopischen Untersuchungen über die Struktur von schnellhärtenden Kunststoffen stellte HELMCKE (10) fest, daß die polymeren Bestandteile aus Kugeln bestehen. Sie werden durch die Mischung mit einem flüssigen Monomer oberflächlich gelöst und sintern dadurch zusammen. In den Zwischenräumen erstarrt die monomere Phase, indem sie die aufgelösten Bestandteile des ursprünglichen Polymers wieder ausfallen läßt. Die radialstrahlige Struktur der Kugelpolymere dient als Muster. An Bruchflächen lassen sich einzelne, unregelmässige begrenzte Waben erkennen, die aus den polymeren Kugeln hervorgegangen sind. Es findet eine elektronenmikroskopisch lückenlose Verbindung der Wabenzellen statt, so daß der fertige Kunststoff eine in sich geschlossene, kompakte Masse bildet. Elektronenmikroskopische Bilder ließen eine originalgetreue Wiedergabe von Abdrücken erkennen. Es besteht jedoch die Gefahr, daß beim Aufdrücken der Kunststoffmasse, feinste Luftbläschen eingeschlossen werden.

Nach FALCK (11) hängt der Reaktionsverlauf und damit auch die Erhärtung ab von:

a) dem Gehalt an Katalysatoren

b) der Teilchengröße des Pulvers (je kleiner, desto schnellere Reaktion!)

c) dem Mengenverhältnis des angemischten Pulvers (je dicker, desto schneller!)

d) der Temperatur (je höher, desto schneller!)

Mit dem Polymerisationsvorgang ist nach DOLDER (12) ein Schrumpfungsprozeß verbunden, der in der Regel 3 - 4 % beträgt. Er ist spätestens 3 Stunden nach dem Anrühren abgeschlossen. Die Auswirkung der Schrumpfung hängt von der Haftintensität des Kunststoffes auf der Oberfläche ab.

Nach den Untersuchungen von HELMCKE ist somit der originalgetreue Abdruck des Autopolymerisats Palavit für licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen erwiesen. Ob und wieweit diese Feststellung auch für Oberflächenmessungen zutrifft, muß nachstehend geklärt werden.

II. Experimenteller Teil

A. Allgemeines

Die Oberflächenmessung war bis vor dreißig Jahren noch das Interessengebiet einiger weniger Fachleute. Sie ist heute in der Industrie und in der Forschung zu einem Verfahren geworden, das immer mehr an praktischer Bedeutung gewinnt.

Die heute üblichen Oberflächenmeßgeräte sind das Lichtschnittgerät, der Mikrogeometer, das Leitz-Forster-Gerät, das Interferenzmikroskop, das Perth-O-Meter, der Leitz-Rauhtester, der Oberflächenindikator von Johannson und der PROFILOGRAPH nach FÖRSTER, welcher hier Verwendung fand.

1. Definition der Oberfläche

Die technischen Oberflächen sind in ihrer Gestalt und in der Kennzeichnung der Rauheit genormt nach DIN (Deutsche Industrie Norm) 4760 und 4761. Die Bezugssysteme und Maße für die Feingestalt sind in DIN 4762 festgelegt. Die Stufung der Oberflächenmaße wird im DIN - Entwurf 4763 angestrebt, ebenso die funktionsmäßige Ordnung der technischen Oberflächen im DIN-Entwurf 4764.

Nach de VRIES (13) unterscheidet man das Oberflächenprofil in ein Formprofil, ein Wellenprofil und in ein Rauhigkeitsprofil.

Für die nachfolgenden Oberflächenmessungen und ihre Methode interessiert ausschließlich das Rauhigkeitsprofil.

Das Oberflächenprofil entsteht aus der Bahn der Berührungsstelle der Rastnadel (Saphirnadel, gegebener Tastradius 10 µ) mit der zu messenden Oberfläche (siehe Abb. 1, nächste Seite).

Zur Kennzeichnung der Profilhöhe stehen mehrere charakteristische Größen, sogenannte Maßzahlen zur Verfügung. Diese Größen lassen sich auch in methematischer Form fassen, wenn das durch die Tastnadel aufgezeichnete Rauhigkeitsprofil als Kurve in einem Koordinatensystem dargestellt wird. Dabei liegen die tiefsten Punkte des Profils auf der Abszissenachse x. Die senkrechten Koordinaten, das ist gleichbedeutend mit senkrecht zur geometrischen Oberfläche oder in Richtung der Profilhöhe, werden mit y bezeichnet. Derjenige Größenwert von x, der zur Beurteilung des Profils herangezogen wird, entspricht der Bezugsstrecke Sb (siehe Abb. 2). Die Mittellinie Lm ist so durch das Profil gelegt, daß innerhalb der Bezugsstrecke Sb die Flächen über ihr (mit + bezeichnet) gleich den unter ihr liegenden Flächen (mit - bezeichnet) sind. Lm ist identisch mit dem Wellenprofil.

Die Hüllinie Lh verläuft durch die höchsten Punkte des Profils, parallel zu Lm. Die Grundlinie Lg verläuft durch die tiefsten Punkte des Profils, parallel zu Lm. Die Rauhtiefe Rt ist die Entfernung zwischen Hüllinie Lh und Grundlinie Lg. In mathematischer Form ausgedrückt

$$Rt = y\,max$$

Abb. 1: Rauhigkeitsprofil einer technischen Rauhnormalen. Empfindlichkeitsbereich 0 - 30 μ. Papiervorschub 10 mm/sec. Ablesbare Rauhtiefe ca. 5 μ.

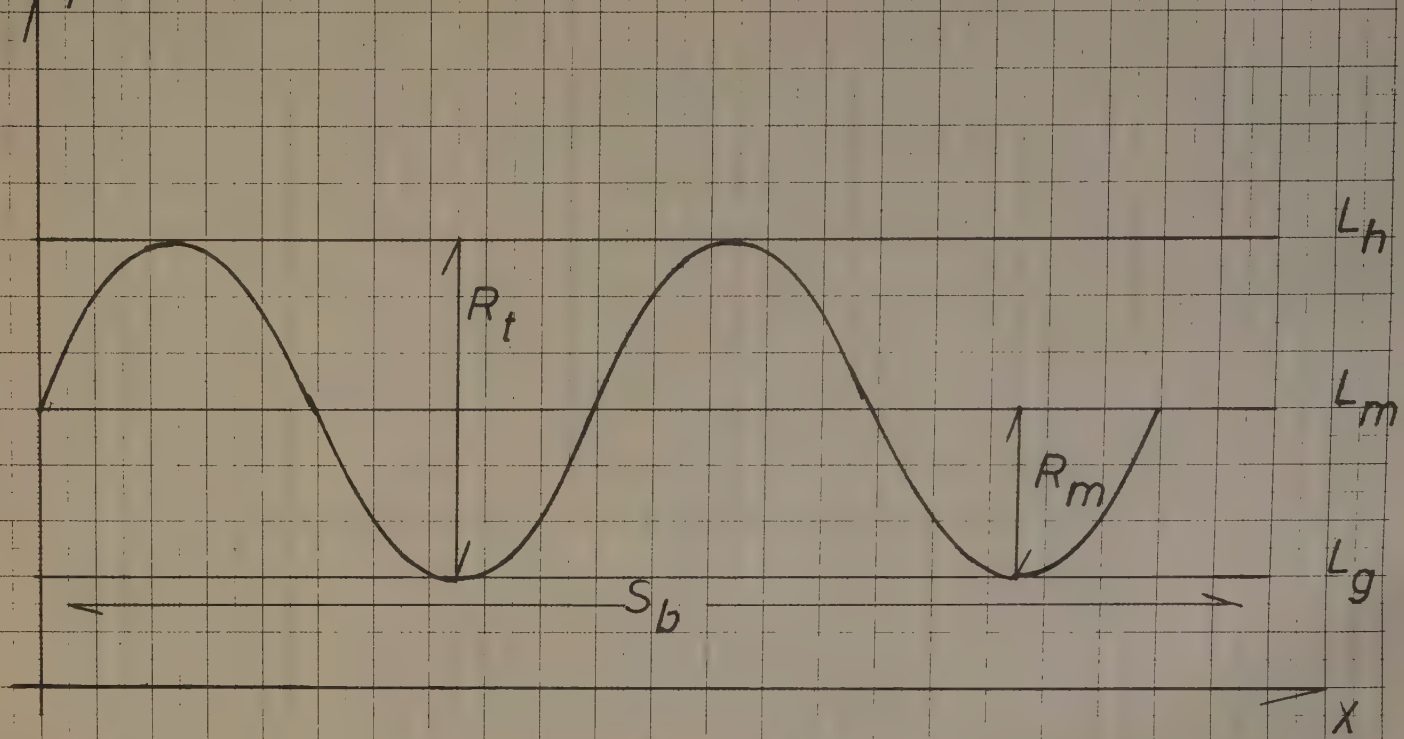

Abb. 2. Definition des Oberflächenprofils (siehe Text)

Die mittlere Rauhtiefe Rm ist definiert durch den Abstand der Mittellinie Lm von der Grundlinie Lg

$$Rm = \frac{E\,y}{n} = \frac{1}{Sb} \int_{o}^{Sb} y\,dx$$

(nach FÖRSTER)

2. Prinzipielle Arbeitsweise des Profilographen

Das Profil der zu vermessenden Oberfläche wird mit Hilfe einer Saphir- bzw. einer Diamantnadel abgetastet. Die Nadelbewegungen werden in einem elektromechanischen Wandlersystem in elektrische Spannungen umgewandelt, die der Tasternadel proportional sind. Diese elektrischen Spannungen werden verstärkt und einem Schreibsystem zugeführt. Eine elektrisch geheizte Schreibernadel zeichnet dann sofort das abgetastete Oberflächenprofil formgetreu auf Hellige-Kontrast-Millimeterpapier auf. Ein Vergrößerungsmaßstab läßt 6 verschiedene Meßbereiche zu (siehe Tabelle 1, nächste Seite).

Die Horizontalvergrößerung ist abhängig von der Papiertransportgeschwindigkeit. Es sind vier Tempostufen vorhanden. Der Papiervorschub von 10 mm/sec. ist am günstigsten und wurde immer verwendet.

Tabelle 1

(Abgeändert aus der Bedienungsanweisung für den Profilographen Type 5814 Institut Förster Reutlingen)

Meßbereich in µ	Vertikal-vergrößerung	30 mm Schreibbreite entsprechen einer Rauhtiefe Rt
0 - 100	300-fach	100 µ
0 - 30	1000-fach	30 µ
0 - 10	3000-fach	10 µ
0 - 3	10000-fach	3 µ
0 - 1	30000-fach	1 µ
0 - 0,3	100000-fach	0,33 µ

Das Meßsystem befindet sich in dem vorderen, beweglich gelagerten Teil des Meßtasters. Dieser Teil liegt mit zwei Auflagepunkten auf der Oberfläche des Prüflings. Der Auflagedruck der Nadel ist außerordentlich gering. Er beträgt ungefähr 0,1 g. Damit ist eine Beschädigung oder eine Verfälschung der Oberfläche ausgeschlossen. Die Tastnadel wird durch einen ölhydraulischen Vorschub mit konstanter Geschwindigkeit über die zu messende Oberfläche bewegt. Sie erlaubt eine Meßstrecke von 10 mm.

Beim Aufsetzen des Tasters auf die Oberfläche ist darauf zu achten, daß er mit beiden Auflagepunkten satt anliegt. Mit einer Wassermenge muß genau geprüft werden, ob der Taster parallel zur Oberfläche aufliegt. Es ist darauf zu achten, daß die Saphirnadel während des Meßvorganges frei auf der Oberfläche gleiten kann.

Für die Messung von kleinsten Prüflingen, wie es bei den nachfolgenden Beispielen der Fall ist, ist es zweckmässig, den ölhydraulischen Vorschub mit Taster in ein Stativ einzuspannen. Das hier verwendete Stativ besitzt einen Auflageteller mit Führungsnuten für Vorschubfüßchen, der sich parallel zur Auflagefläche in der Höhe verstellen läßt.

B) Methodik und Ergebnisse

1. Anfertigung der Palavit-G-Abdrücke

Pulver und Flüssigkeit werden in einem kleinen Schälchen in mässig flüssiger Konsistenz angerührt. Sodann läßt man das Palavit G auf die gewünschte Oberfläche einer Füllung oder eines Zahnes in der Mundhöhle auftropfen. Das Objekt muß zuvor getrocknet und gereinigt werden. Es mit dem mitgelieferten Fett zu isolieren, ist unnötig. Dies würde ohnehin der Genauigkeit des Abdruckes schaden. Nach ungefähr 3 - 5 Minuten Erstarrungszeit läßt sich der Palavit G-Abdruck ohne weiteres - eventuell mit Hilfe eines kleinen Modellierspatels - abheben.

Die so gewonnenen Abdrücke müssen nun für die eigentliche Oberflächenmessung vorbereitet und brauchbar gemacht werden. Sie werden deshalb mit Modellgips (Moldano) gesockelt und damit fixiert. Dies geschieht am besten mit Hilfe eines zerlegbaren Metallrähmchens. So können alle Palavitabdrücke ein-

heitlich fixiert und gesockelt werden (siehe Abbildung 3).

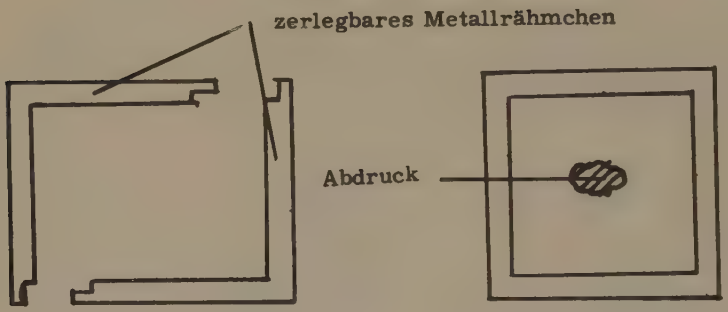

Abb. 3: Zerlegbares Metallrähmchen mit gesockeltem Palavit G-Abdruck

Auf einem Stativtisch werden die gesockelten Abdrücke mit Hilfe von Stellschrauben fixiert. Ein vorhandener Querschub ermöglicht jede beliebige Einstellung des Abdruckes zum Meßtaster bis zu 1/10 mm Genauigkeit.

2. Die Oberflächengenauigkeit des Palavit G-Abdruckes

Die eingangs gestellte Frage, ob die originalgetreue Wiedergabe der Form des Palavit G-Abdruckes auch für die Oberfläche zutrifft, soll an Hand von Vergleichsmessungen geklärt werden. Einerseits wird die Oberfläche eines gesockelten Glasplättchens (Objektträger) mit dem Profilographen abgetastet. Andererseits wird die Oberfläche des Palavit G-Abdruckes von dem Glasplättchen ausgemessen. Beide Rauhigkeitsprofile werden dann verglichen.

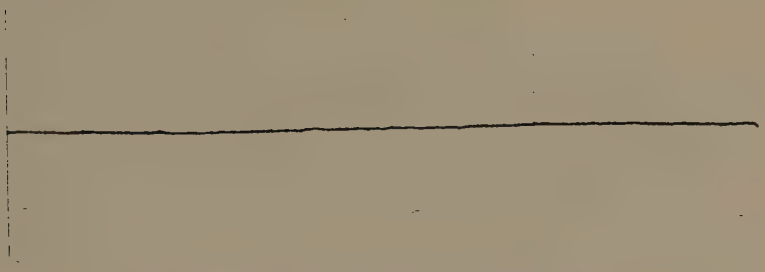

Abb. 4: Oberflächenprofil eines Glasplättchens (Objektträger). Empfindlichkeitsbereich 0 - 100 µ. Keine ablesbare Rauhtiefe. Papiervorschub 10 mm/sec.

Abb. 5: Oberflächenprofil des Palavit G-Abdruckes von dem Glasplättchen. Empfindlichkeitsbereich 0 - 100 µ. Keine ablesbare Rauhtiefe. Papiervorschub 10 mm/sec.

Abb. 6: Oberflächenprofil eines Glasplättchens. Empfindlichkeitsbereich 0 - 30 µ. Ablesbare Rauhtiefe kleiner als 1 µ. Papiervorschub 10 mm/sec.

Abb. 7: Oberflächenprofil des Palavit G-Abdruckes von dem Glasplättchen. Empfindlichkeitsbereich 0 - 30 µ. Ablesbare Rauhtiefe kleiner als 1 µ. Papiervorschub 10 mm/sec.

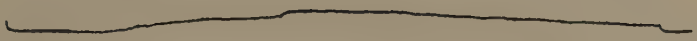

Abb. 8: Oberflächenprofil eines Glasplättchens. Empfindlichkeitsbereich 0 - 10 µ. Ablesbare Rauhtiefe ca. 1 µ. Papiervorschub 10 mm/sec.

Abb. 9: Oberflächenprofil des Palavit G-Abdruckes von dem Glasplättchen. Empfindlichkeitsbereich 0 - 10 µ. Ablesbare Rauhtiefe ca 1 µ. Papiervorschub 10 mm/sec. Die Rauhtiefe weicht gegenüber Abb. 8 nicht ab.

Abb. 10: Oberflächenprofil eines Glasplättchens. Empfindlichkeitsbereich 0 - 3 µ. Ablesbare Rauhtiefe ca. 1 µ. Papiervorschub 10 mm/sec.

Abb. 11: Oberflächenprofil des Palavit-G-Abdruckes von dem Glasplättchen. Empfindlichkeitsbereich 0 - 3 µ. Ablesbare Rauhtiefe größer als 1 µ. Papiervorschub 10 mm/sec.

Bei einem Empfindlichkeitsbereich des Profilographen von 0 - 100 µ zeigen die Rauhigkeitsprofile in Abbildung Nr. 4 und 5 keine Abweichungen voneinander. Das heißt, der Palavitabdruck kann in dieser Dimension als oberflächengetreu bezeichnet werden. Ebenso kann man diese Feststellung bei einem Empfindlichkeitsbereich von 0 - 30 µ beobachten (siehe Abbildungen Nr. 6 und 7, Seite 16). Erst bei einer Empfindlichkeit von 0 - 10 µ - Abbildungen Nr. 8 und 9 - sind beim Palavitabdruck Abweichungen gegenüber der Glasplättchenoberfläche festzustellen. Noch deutlicher wird dieser Unterschied im Bereich von 0 - 3 µ, wie aus den Abbildungen Nr. 10 und 11, Seite 18, zu sehen ist.

Dieselben Ergebnisse konnten in einer zweiten Meßreihe festgestellt werden!

Man kann somit sagen, daß die Oberflächengenauigkeit der Palavit G-Abdrücke bis einschließlich Empfindlichkeitsbereich 0 - 30 µ beim Profilographen dem Original entsprechen. Darüberhinaus sind mehr oder weniger starke Abweichungen bis zu 3 µ von der Originaloberfläche zu erwarten. Diese Differenzen haben in der Oberflächenbeschaffenheit des Palavites selbst ihre Ursache.

Diese Feststellung bedeutet jedoch keine spürbare Einschränkung bei der Oberflächenmessung von Zähnen und Füllungen in der Mundhöhle. Allein schon beim Austasten eines Abdruckes von Perikymatien an einem linken oberen Schneidezahn, erhält man im Empfindlichkeitsbereich 0 - 100 µ so große Ausschläge, daß an Messungen in empfindlicheren Bereichen gar nicht zu denken ist (siehe Abbbildung Nr. 12, nächste Seite).

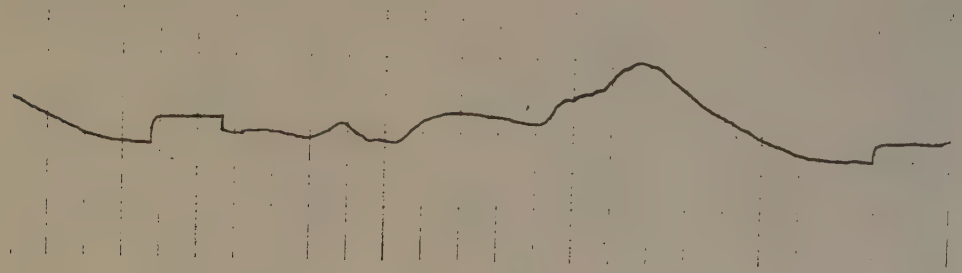

Abb. 12: Rauhigkeitsprofil von Perikymatien an einem linken oberen Schneidezahn. Empfindlichkeitsbereich 0 - 100 µ. Ablesbare Rauhtiefe der Perikymatien ca. 10 µ. Papiervorschub 10 mm/sec.

Es ist dabei zu bemerken, daß grobe Unebenheiten einer Oberfläche der maximalen Rauhtiefe entsprechen. Das übrige Feinprofil der Oberfläche muß gesondert beachtet werden. Dies trifft außer bei den Perikymatien besonders für die Füllungsränder zu. Bei Rauhigkeitsprofilen von Füllungen ist immer der Füllungsrand von der übrigen Oberfläche zu unterscheiden. Meist entspricht die maximale Rauhtiefe dem Füllungsrand, das Feinprofil der Füllungsoberfläche.(siehe Abb. Nr. 13, nächste Seite).

3. Rauhigkeitsprofile von verschiedenen Füllungen in der Mundhöhle

Die Oberflächenbeschaffenheit der in der täglichen Praxis am häufigsten applizierten Füllungen, soll an Hand von einigen Beispielen dargestellt werden. Dabei ist vorauszuschicken, daß in den folgenden Abbildungen das Feinprofil der Füllungsoberfläche aus technischen Gründen nicht berücksichtigt werden konnte. Die Darstellungen sind vom Original im Maßstab 1:2 übertragen, und sollen die maximale Rauhtiefe - und damit den Füllungsrand - zum Ausdruck bringen.

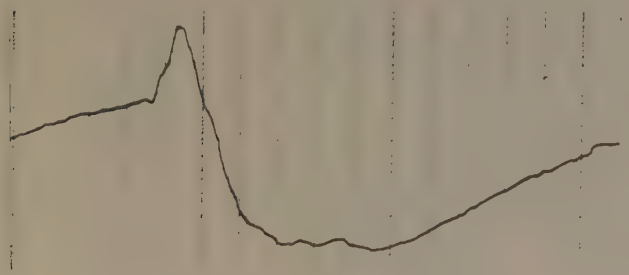

Abb. 13: Rauhigkeitsprofil einer sorgfältig am Phantommodell ausgearbeiteten und hochglanzpolierten Amalgamfüllung. Empfindlichkeitsbereich 0 - 30 µ. Papiervorschub 10 mm/sec. Maximale Rauhtiefe (Füllungsrand) ca. 30 µ. Rauhtiefe des Feinprofils (Füllungsoberfläche) ca. 1 µ.

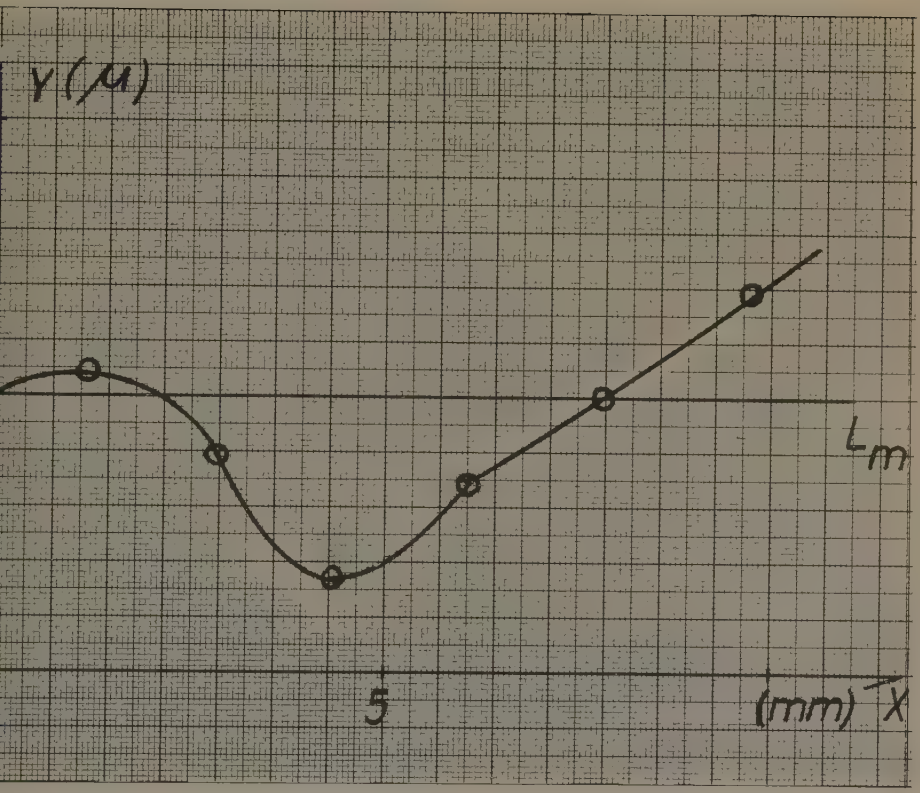

Abb. 14: Oberflächenprofil einer ca. 4 Jahre alten Silikatfüllung eines 26jährigen Patienten von $\underline{2}$ mesial. Empfindlichkeitsbereich 0 - 100 µ. Maximale Rauhtiefe 15 µ. Papiervorschub 10 mm/sec.
(Vom Original im Maßstab 1 : 2 übertragen)

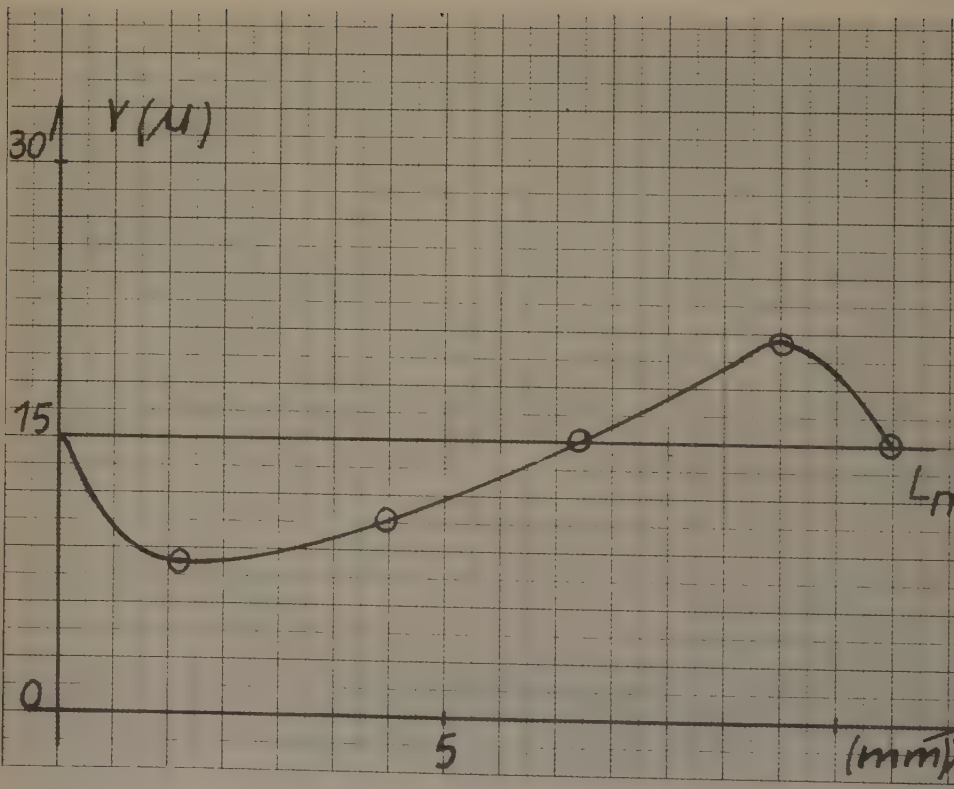

Abb. 15: Oberflächenprofil eines Goldinlays 3 labil.
Es wurde 1960 eingesetzt und ist hochglanz-
poliert. Der Patient ist 26 Jahre alt.
Empfindlichkeitsbereich 0 - 30 µ.
(Vom Original im Maßstab 1 : 2 übertragen)
Ablesbare Rauhtiefe ca. 14 µ!
Papiervorschub 10 mm/sec.

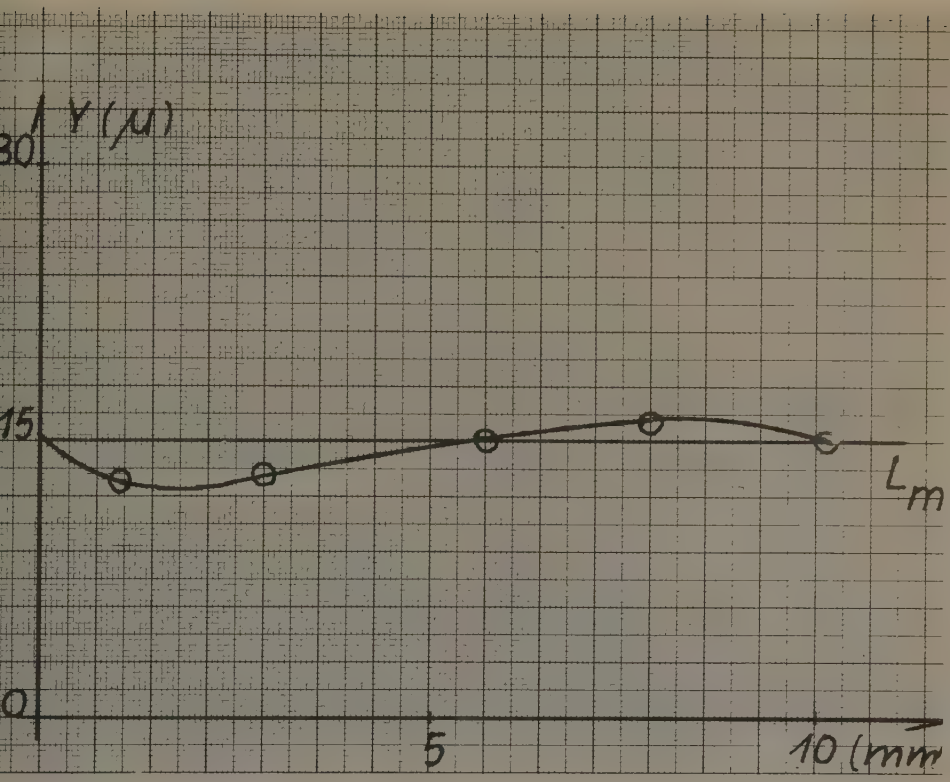

Abb. 16: Oberflächenprofil einer kunstgerecht applizierten und hochglanzpolierten Amalgamfüllung an $\underline{6}$ (Zahnhals). Empfindlichkeitsbereich 0 - 30 µ. (Vom Original im Maßstab 1 : 2 übertragen). Ablesbare Rauhtiefe ca. 1 µ. Papiervorschub 10 mm/sec.

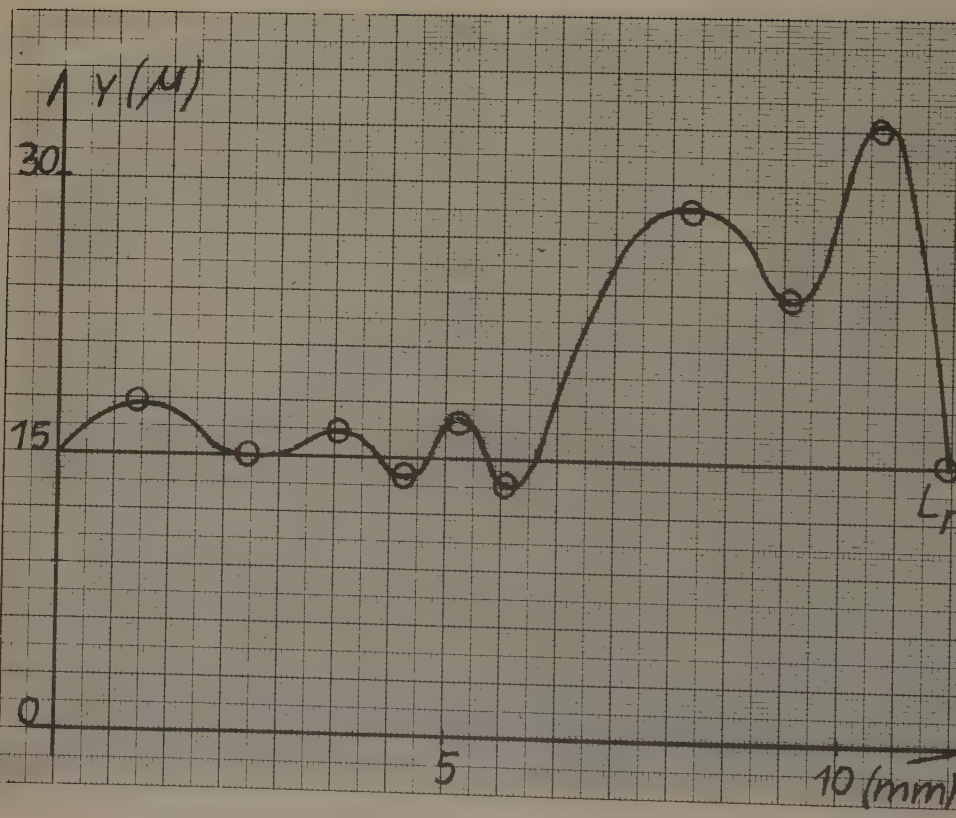

Abb. 17: Oberflächenprofil einer polierten Zementfüllung an 6|MOD. Empfindlichkeitsbereich 0 - 30 µ.
(Vom Original im Maßstab 1:2 übertragen)
Ablesbare Rauhtiefe ca. 18 µ. Papiervorschub 10 mm/sec.

4. Auswertung der Kurven

Die Auswertung erfolgt am besten zeichnerisch (siehe Abb. Nr. 18, nächste Seite).

$$Rt = y\,max = \frac{y.mm}{\mu}$$

Daraus ergibt sich: $Rt = y\,max = 50$

$$Rt = \frac{50 \cdot 100}{100} = 50$$

Somit beträgt die Rauhtiefe $Rt = 50\,\mu$ (siehe auch Abb. Nr. 2).

5. Wiederholungs- und Parallelmessungen

Die Saphirnadel des Tastgerätes ist beweglich gelagert. Daher kann eine Messung nicht mehr genau an demselben Ort wiederholt werden. Diese Feststellung ergab sich im Laufe der Untersuchungen. Um jedoch am selben Objekt in späterer Zeit Vergleichsmessungen vornehmen zu können, sollten genaue Meßwerte vorliegen. Es ist daher zweckmäßig mehrere Messungen an einem Prüfling zu machen, und daraus eine Mittelwertskurve aufzustellen. Diese Reihenmessung ist möglich mit Hilfe eines Querschubes.

Der hier verwendete Querschub hat eine Maßeinteilung, die bis zu 1/10 mm reicht. Die vorliegenden Reihenmessungen wurden in einem Abstand von jeweils 1 mm durchgeführt. Es wurden 10 Messungen an einem Abdruck vorgenommen.

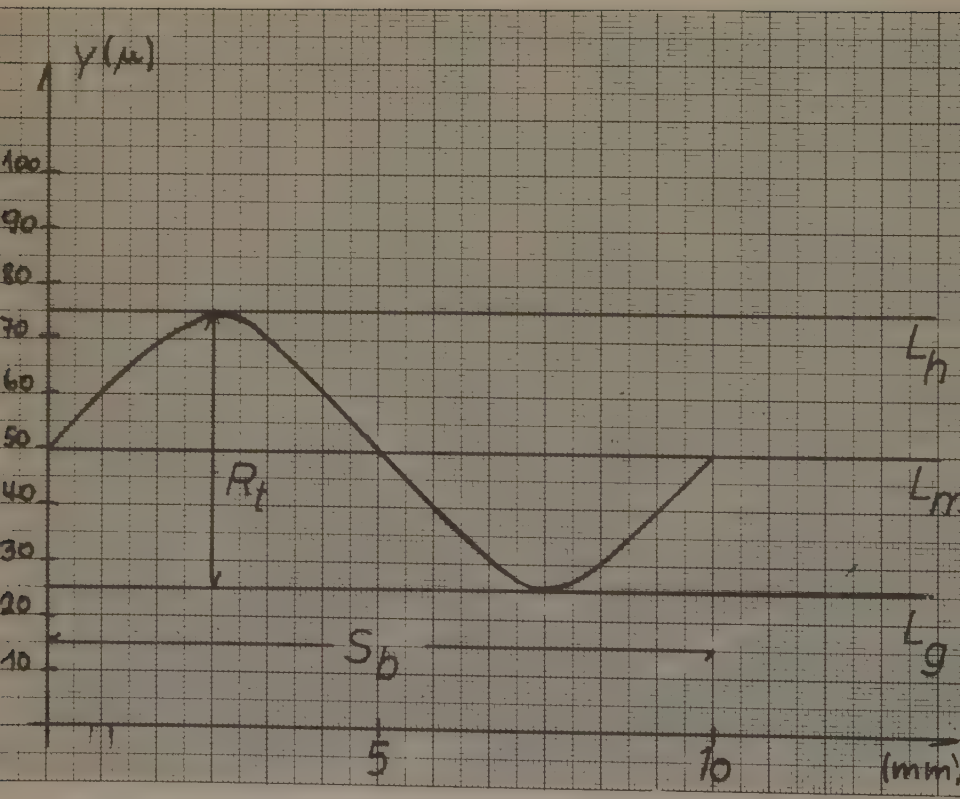

Abb. 18: Zeichnerische Auswertung der Kurven.
100 mm = 100 µ !

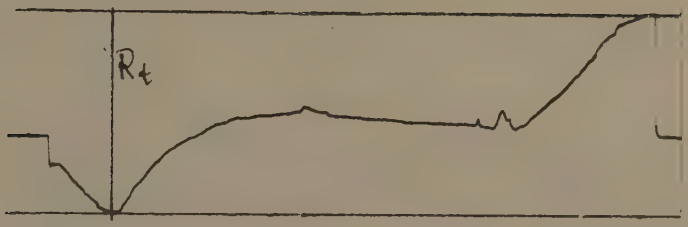

Abb.19: 1. Messung der Meßreihe.
(Rt max am Anfang und Ende des Rauhigkeitsprofils entsprechen dem Füllungsrand!)

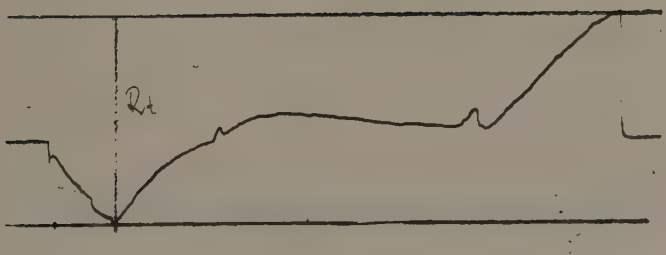

Abb.20: 2. Meßung der Meßreihe.

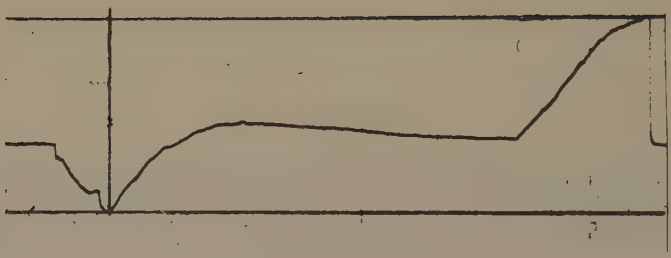

Abb. 21: 3. Meßung der Meßreihe.

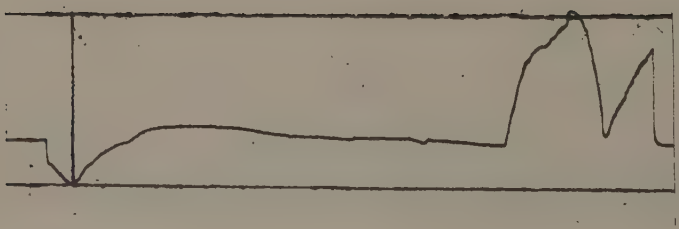

Abb. 22: 4. Meßung der Meßreihe.

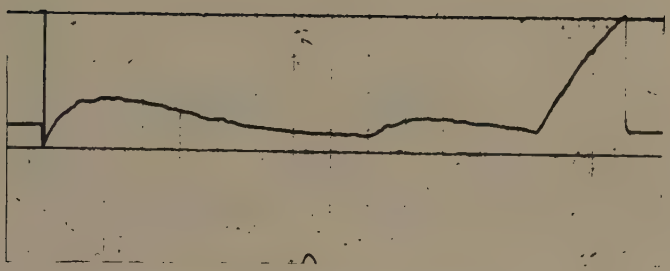

Abb. 23: 5. Meßung der Meßreihe

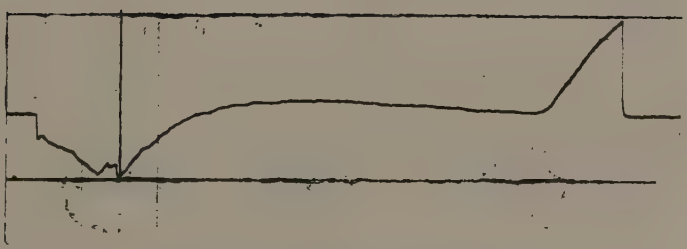

Abb. 24: 6. Meßung der Meßreihe

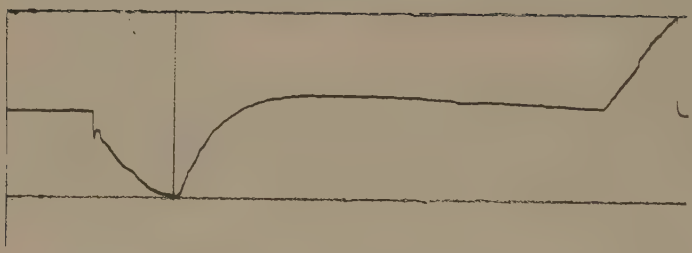

Abb. 25: 7. Meßung der Meßreihe

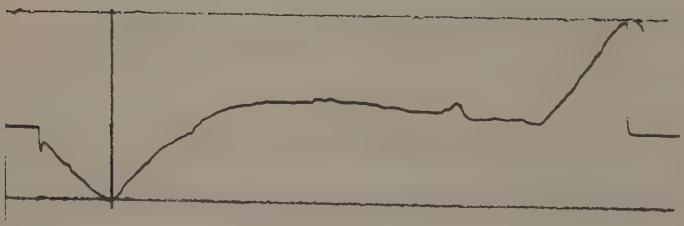

Abb. 26: 8. Meßung der Meßreihe

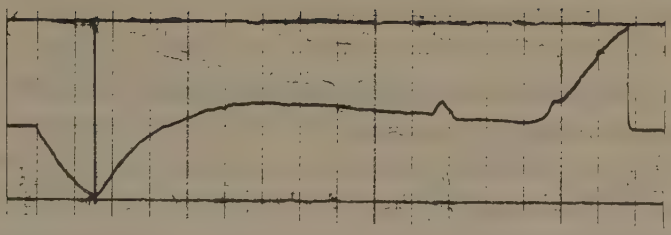

Abb.27: Meßung der Meßreihe

Abb.28: 10. Meßung der Meßreihe

Die Abbildungen Nr. 19 bis Nr. 28 zeigen eine solche Reihenmessung mit dem Querschub an einem hochglanzpolierten Goldinlay $\underline{1}$ distal. Die Goldfüllung ist seit 1954 eingesetzt. Der Patient ist 27 Jahre alt.

Aus den Rauhtiefen-Maximalwerten der Meßreihe wird der Rauhtiefenmittelwert ermittelt.

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rt max (mm)	27	28	26	24	20	22	25	25	24	24

Tab. 2: Rauhtiefen-Maximalwerte aus den 10 Messungen der Meßreihe.

Summe Rt max = 245

Mittelwert Rt max = $\frac{245}{10}$ = 24,5 mm !

III. Schlußbemerkungen

Die beschriebene Methode erlaubt die Reproduktion der Rauhtiefe von Zähnen und Füllungen von der Mundhöhle auf Millimeterpapier. So können alle interessierenden Oberflächen genau ausgewertet und über unbegrenzte Zeitdauer kontrolliert und verglichen werden. Dies trifft besonders auf Zahnfüllungen und deren Randverhältnisse zu. Die Füllungsränder können vom Zeitpunkt der Applikation an jederzeit mit dem Profilographen abgetastet werden. Der genaue Ort der Messung kann an der Füllung oder am Zahn selbst durch eine leichte Einkerbung mit einem Radbohrer fixiert werden. So ist er für spätere Untersuchungen immer genau zu finden.

Gewisse Probleme der Konservierenden Zahnheilkunde wie Remineralisationsvorgänge am Füllungsrand, Auswaschen des Füllungsrandes, Verletzung der Schmelzprismen beim Polieren, Korrosion der Füllungsoberfläche, bieten sich zur Untersuchung an. Messungen zu Beginn nach einem halben Jahr, nach einem ganzen Jahr usw. können wertvolle Aufschlüsse geben.

Eventuelle Fehlergebnisse, die beim einmaligen Abtasten der Oberfläche mit dem Prifilographen auftreten können, werden weitgehend durch die Reihenmessung mit Hilfe eines Querschubes ausgeglichen.

Ein Vergleich der beschriebenen Methode mit dem Replica-Verfahren ergibt, daß die Replica-Technik schwieriger anzuwenden ist. Die sehr empfindliche Oberfläche des hauchdünnen Plexiglasfilmes ist zum Abtasten mit dem Profilographen nicht geeignet. Die Tastnadel dringt in den Abdruck ein und zerkratzt seine Oberfläche.

Replica-Abdrücke werden ausschließlich unter dem Mikroskop ausgewertet. Sie können als Dokument nur photographisch festgehalten werden.

Die Rauhtiefenmessung mit Akrylatabdrücken ist technisch einfacher. Sie erlaubt ohne besondere Schwierigkeiten Abdrücke direkt in der Mundhöhle. Die Reproduktion der Oberflächenverhältnisse ist von ausreichender Genauigkeit. Sie kann als Dokument in beliebiger Anzahl aufgezeichnet werden. Die Wiedergabe der Rauhigkeitsprofile kann außerdem in sechs verschieden großen Maßstäben erfolgen. Den Akrylatabdruck kann man über längere Zeit aufbewahren und jederzeit mit dem Profilographen abtasten und auswerten.

Nachteilig ist die Sperrigkeit und das Gewicht des Profilographen, so daß er immer ortsgebunden bleibt. Die Prüflinge dürfen nicht kürzer als 10 mm sein, da der ölhydraulische Vorschub der Tastnadel nur 10 mm beträgt.

In erster Linie ist der Profilograph für ebene Prüfstrecken geeignet. Bei stark gekrümmten Oberflächen wird die Messung des Rauhgikeitsprofils in Frage gestellt. Eine einwandfreie Auflage der Tastnadel ist dabei nicht mehr gewährleistet. Hier liegen die Grenzen des Anwendungsbereiches.

Es ist deshalb darauf zu achten, daß die Oberflächenmessung beziehungsweise die Abdrucknahme an ebenen Flächen vorgenommen wird. Gekrümmte Oberflächen werden von der Tastnadel und dem elektromechanischen Wandlersystem entsprechend dem Krümmungs-

grad als Rauhigkeitsprofil aufgezeichnet. Bei der Auswertung der maximalen Rauhtiefe muß dies berücksichtigt werden. Einen exakten Rauhtiefenwert erhält man nur von nicht gekrümmten Oberflächen.

IV. Zusammenfaßung

1. Es wurde eine Methode entwickelt, mit der Oberflächenverhältnisse auf Zähnen und Füllungen in der Mundhöhle gemessen werden können. Verwendet wurde der PROFILOGRAPH nach FÖRSTER.

2. Die Methode besteht in der Reproduktion der Oberfläche durch Kunststoffabdrücke mit dem selbsthärtendem Material PALAVIT G, auf denen die eigentliche Meßung erfolgt.

3. Vergleichsmeßungen zwischen einer Glasplatte und entsprechenden Kunststoff-Abdrücken ergaben eine ausreichende Wiedergabegenauigkeit in bezug auf das Original bis zum Empfindlichkeitsbereich 0 - 30 u.

4. Die Auswertung der Meßdiagramme kann rechnerisch oder zeichnerisch erfolgen.

5. Die dargestellte Methode der Oberflächenmeßung ist besonders für Probleme aus dem Bereich der konservierenden Zahnheilkunde anwendbar. Auf diese Weise können spezielle Oberflächenverhältnisse von Zähnen und Füllmaterialien auch in Abhängigkeit von Veränderungen innerhalb längerer Zeiträume dargestellt werden.

V. Literaturverzeichnis

(1) Wolf, J. — Zit. nach Pantke, H. loc. zit. (4)

(2) Scott und Wyckoff — Zit. nach Pantke, H. loc. zit. (4)

(3) Heuser, H. — Oberflächenhistologische Untersuchungen zur pathologischen Physiologie der chronischen Karies. Zahnärztl. Welt 7 Nr. 22 (1952)

(4) Pantke, H. — Replica Technik
Stoma 9, 86-91 (1956)

(5) Schneider, V. und Reimann, W. — Ein neues Abdruckverfahren für die Oberflächenprüfung.
Sonderdruck aus Werkstattechnik und Maschinenbau 3, 129-131 (1956)

(6) Schreil, W. — Zur Technik der Palavitabdrücke in der Elektronenmikroskopie.
Mikroskopie 10, 266-267 (1955)

(7) Schleich, F. — Elektronenmikroskopische Untersuchungen an fixierten und lebenden Mikroorganismen unter Anwendung der Abdruckverfahren.
Mikroskopie 141, 576-584 (1955)

(8) Adolph, W. Elektronenmikroskopische Untersuchungen an maschinell bearbeiteten Dentinoberflächen von Zähnen mit lebender Pulpa. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 13, 635-644 (1958)

(9) Wenzel, S. Selbsthärtende Kunststoffe. Verlag Wenzel, Wuppertal-Elberfeld 1949, 1. Auflage

(10) Helmcke, J.G. Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Struktur von schnellhärtenden Kunststoffen für zahnärztliche Zwecke. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 4, 1885-1890 (1955)

(11) Falck, K. Werkstoffkunde für Zahnärzte. von Weikart, P. Staatsverlag Wuppertal-Barmen München 1959, 3. Auflage

(12) Dolder, E. Physikalische Eigenschaften des Silikatzementes und schnellhärtenden Kunststoffes. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 12, 1-11 (1957)

(13) de Vries zit. nach Förster, Beschreibung und Bedienungsanweisung zum Profilograph Typ 5814, Reutlingen

Herrn Professor Dr. A. Kröncke

möchte ich an dieser Stelle für die

freundliche Überlassung des Themas,

und für die persönliche Unterstützung

während der Arbeit besonders danken!

Lebenslauf

Am 7. Juli 1935 wurde ich in Pforzheim als Sohn des Zahntechnikers Friedrich Talmon und seiner Ehefrau Hedwig, geb. Metzger, geboren. Meine Kindheit verlief harmonisch im Elternhaus.

Dieser erste Lebensabschnitt wurde mit dem Eintritt in die Volksschule Eutingen/Baden am 1. September 1941 abgeschlossen. Die vier Grundschuljahre verliefen durch die Kriegswirren bedingt recht bewegt. Vom 1. September 1946 an, besuchte ich die damalige Oberrealschule in Mühlacker, wo ich am 27. Februar 1956 das Abitur bestand.

Im Sommersemester 1956 begann ich an der Eberhard-Karls-Universität mit dem Studium der Zahnheilkunde. Dort bestand ich am 30. April 1959 die zahnärztliche Vorprüfung. Einem klinischen Semester an der Ruprecht-Karl-Universität zu Heidelberg, folgten vier weitere wiederum in Tübingen. Vom 27. Juli bis zum 21. Dezember 1961 legte ich das zahnärztliche Staatsexamen mit Erfolg ab.

Fotodruck Frau Elly HUTH Tübingen